Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 10: December, 1982

Zero-Storage Solar Heating Systems

1. SYNOPSIS

The effect of eliminating thermal storage from solar water heating systems is examined. Results show that zero-storage systems have an overall system thermal performance similar to or slightly better than conventional storage-based systems when:

a) the energy required (load profile) matches the insolation profile for each hour of the day;

b) there is a 7-day-per-week energy requirement;

c) the solar contribution is relatively small.

2. INTRODUCTION

WATSUN 4, an interactive hour-by-hour computer program, was used to simulate a system with and without thermal storage. Data for the model solar system were input as follows:

collector area:	8 m^2
hot water load:	500 L/d
hot water set temperature:	50°C
mains temperature:	10°C
collector slope:	45°
azimuth:	0°
location:	Ottawa
storage:	a) 0 L/m^2 of collector
	b) 60 L/m^2 of collector

The model system was simulated to show annual thermal performance using the three types of load profiles (A, B, and C) shown in figure 1.

i) Type A: There is a constant load profile between 08:00 and 18:00. There is a hot water load only during the hours when there is potential incident radiation.

ii) Type B: There is an irregular load profile between 08:00 and 18:00.

iii) Type C: There is a constant load profile between 12:00 and 22:00. There is potential incident radiation for only a portion of the time there is a hot water load.

The system was then simulated to show daily thermal performance for a number of winter days and a number of summer days, from which a typical winter day and a typical summer day were selected, as shown in figures 2 and 3.

3. DISCUSSION

3.1 Annual thermal performance

(i) Type A

The zero-storage system with the Type A load profile shows the best annual thermal performance of all the systems examined. The Type A load profile matches the insolation profile and energy is used as it is collected. When the energy requirement does not exceed the useful energy collected by the solar system, for any hour of the day, thermal storage reduces the level of energy delivered. When thermal storage of 60 L/m^2 of collector area is introduced, there is an 18% decrease in the annual thermal performance of the system. In a system with thermal storage, the inlet temperature to the collectors is usually higher than mains temperature, which causes a reduction in the efficiency of the solar array.

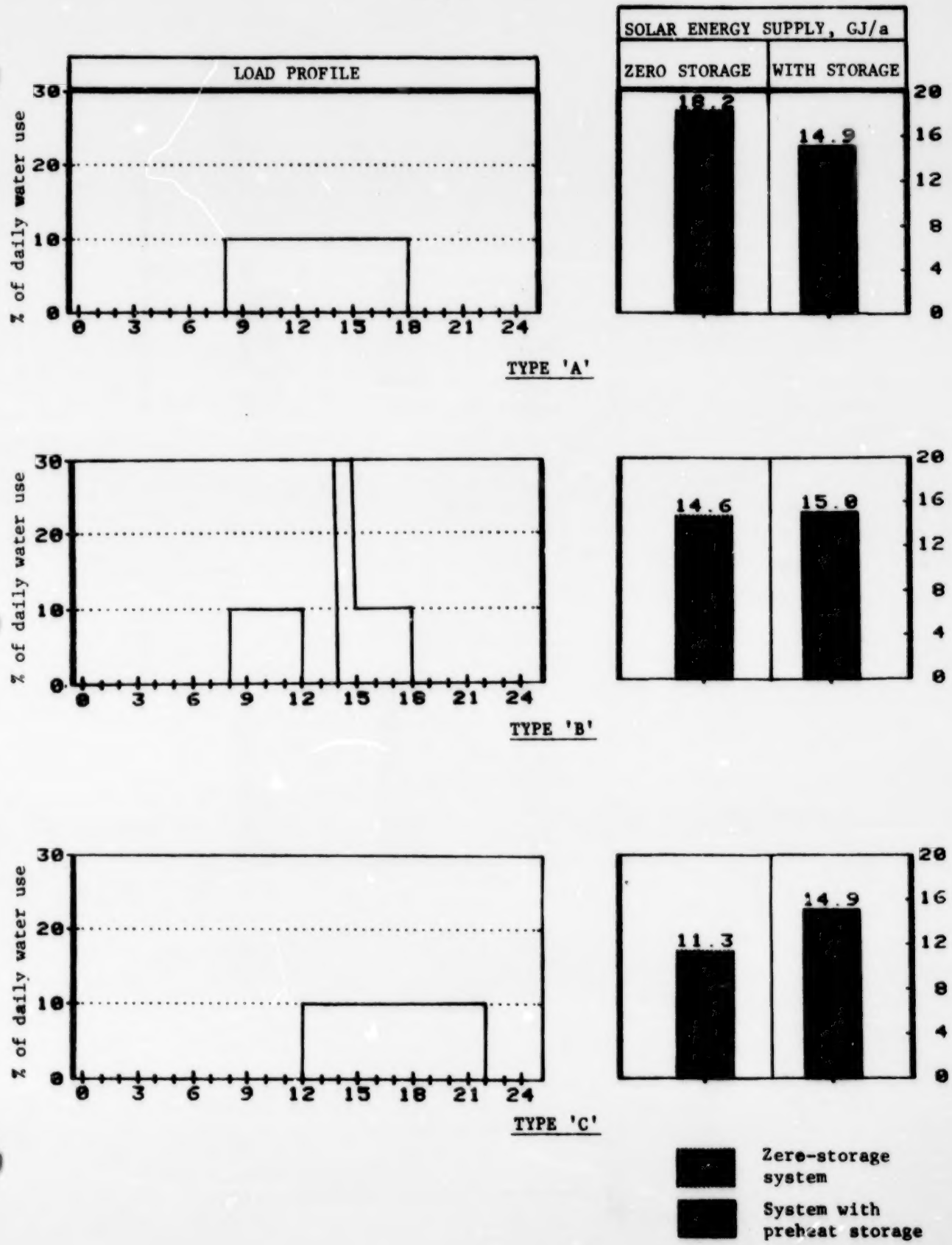


Figure 1. Annual solar energy supplied for systems with and without preheat storage tank using various types of load profiles.

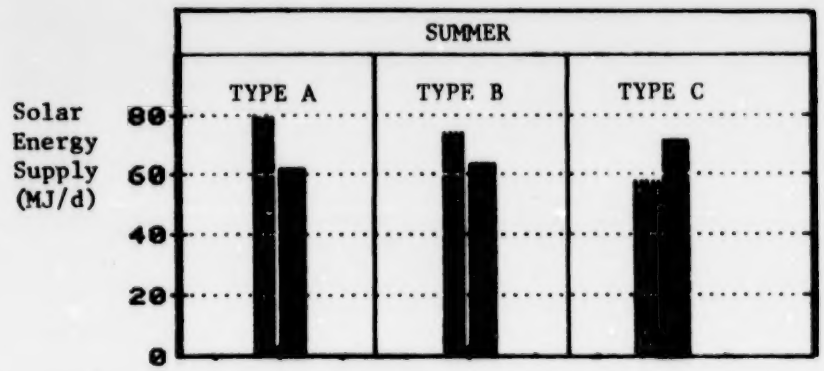


Figure 2. Solar energy supplied by the system with and without storage on July 22, 1970.

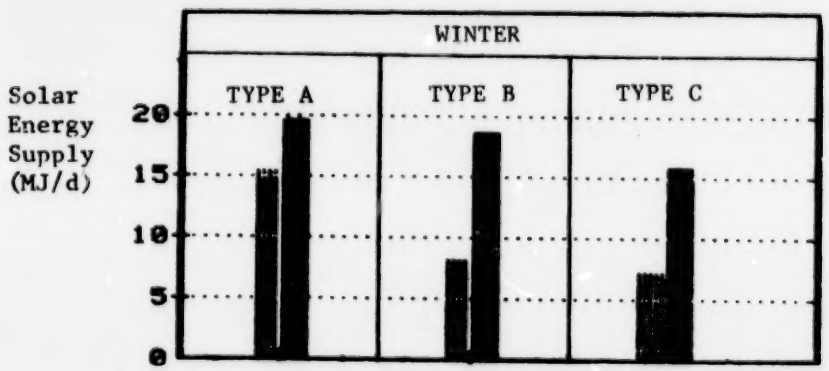
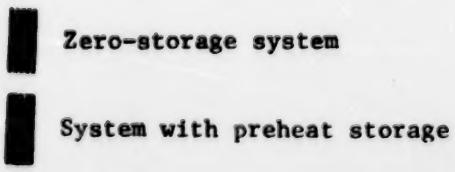


Figure 3. Solar energy supplied by the system with and without storage on January 3, 1970.



(ii) Type B

A change in the shape of the load profile has a strong effect on the annual thermal performance of the zero-storage solar system. The irregular[1] distribution of load profile Type B reduces the thermal performance of a zero storage system by 20% compared to a zero-storage system with the Type A load profile. Since there are hours when energy is collected but there is no load, only the heat transfer fluid in the collector loop is heated and the system is forced to "dump" all remaining collected energy if there is no storage. The system with storage and the Type B load profile performs marginally better than the zero-storage system with the same load profile. The benefits of storage increase with an increase in the irregularity of the load profile during hours of incident radiation. Applications with extremely irregular load profiles (i.e. periods of no draw or large "spikes") during hours of insolation, have a greater need for thermal storage.

(iii) Type C

The annual thermal performance of a zero-storage system decreases substantially when the load profile is shifted outside the hours of incident radiation, as in a Type C load profile. Solar energy is supplied to the load only during the hours of incident radiation. When there is no radiation, or at times when the load exceeds solar energy delivered, the load is met by the auxiliary system as required. In a Type C load profile, incident radiation received before 08:00 is not used and therefore must be "dumped". Using thermal storage to take advantage of the incident radiation between 08:00 and 12:00 results in a 32% increase in annual thermal performance over a zero-storage system. In this instance the scheduling of the load is not suited to a zero-storage system.

---

[1] Note that an "irregular" load profile may match an "irregular" insolation profile, in which case performance is <u>increased.</u>

The shape or the scheduling of the load does not have a strong effect on systems using thermal storage. The thermal storage acts as a buffer thus moderating the effect of inconsistencies between the load profile and the insolation profile.

3.2 Daily thermal performance

The thermal performance of a typical winter day (January 3) and a typical summer day (July 22), for the three types of load profiles are shown in figures 2 and 3. In the summer, the thermal performance of a zero-storage system is higher than that of a system with storage, except for Type C. The reverse is true for all load profiles during the winter. There are two possible reasons for this. First, during the summer the level of insolation and in turn the collected energy is much higher than during the winter. Therefore the temperature of the storage tank will be substantially higher in summer than in winter for a similar load. The system with storage will pay a greater penalty for running at this higher temperature in summer while the system with no storage will operate at maximum efficiency since the inlet to the collectors will be mains water. Second, there are not as many extended periods of low insolation during the summer when the solar system would have to rely on heat from storage. However, during the winter low levels of insolation and the frequency of days with no useful energy collection make zero-storage systems impractical.

4. CONCLUSIONS

The elimination of thermal storage in a solar system should only be considered if the heating load has the following characteristics:

a) The scheduling of the load profile matches the insolation profile;
b) There are no periods of zero load while energy is being collected;
c) There is a 7-day-per-week load requirement;
d) The useful energy collected by the solar system does not exceed the energy requirement of the load during any hour of the day (i.e. low solar fraction).

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9617

N° 10: décembre 1982

Installations de chauffage solaire sans stockage

1. RÉSUMÉ

On examine les effets de l'élimination du stockage thermique dans les systèmes solaires pour le chauffage de l'eau. Les résultats indiquent que le rendement thermique global de l'installation sans stockage est comparable ou légèrement supérieur à celui d'une installation classique à stockage lorsque:

a) l'énergie requise (courbe de demande) correspond à la courbe d'insolation;
b) l'on exige de l'énergie 7 jours par semaine;
c) la fraction solaire est relativement faible.

2. INTRODUCTION

On a simulé une installation avec stockage thermique, puis sans stockage thermique, au moyen du programme d'ordinateur WATSUN 4 interactif, à calcul d'heure en heure. Le modèle d'installation solaire comportait les données suivantes:

superficie des capteurs:	8 m^2
demande d'eau chaude:	500 L/j
réglage du thermostat:	50°C
eau d'alimentation:	10°C
azimuth:	0°
emplacement:	Ottawa
stockage:	a) 0 L/m^2 de capteur
	b) 60 L/m^2 de capteur

Le modèle a simulé le rendement thermique annuel selon trois types de courbe de demande (A, B et C) indiqués à la figure 1.

i) Type A: Il y a une demande constante entre 0800 et 1800. Il y a une une demande d'eau chaude seulement pendant les heures d'insolation potentielle.

ii) Type B: Il y a une demande irrégulière entre 0800 et 1800.

iii) Type C: Il y a une demande constante entre 1200 et 2200. Il y a une insolation potentielle pour seulement la portion du temps que l'eau chaude est requise.

Par la suite, le modèle a simulé le rendement thermique quotidien pour un certain nombre de journées d'hiver et d'été, à partir desquels on a choisi une journée caractéristique de chacune des saisons selon les figures 2 et 3.

3. DISCUSSION

3.1 Rendement thermique annuel

(i) Type A

L'installation sans stockage affiche, avec la courbe de demande type A, le meilleur rendement thermique annuel de toutes les installations étudiées. La courbe de demande type A correspond à la courbe d'insolation et l'énergie est utilisée à mesure qu'elle est captée. Lorsque les besoins d'énergie ne dépassent pas l'énergie utile captée par l'installation à toutes heures de la journée, le stockage thermique réduit la fraction d'énergie solaire absorbée. Lorsqu'on introduit un stockage thermique de 60 L/m^2 de capteur, on constate une réduction de 18% dans le rendement thermique annuel de l'installation. La température de l'eau à l'entrée des capteurs d'une installation avec stockage est normalement plus élevée que celle de l'eau d'alimentation de la conduite principale, ce qui a pour effet de réduire le rendement de l'ensemble des capteurs.

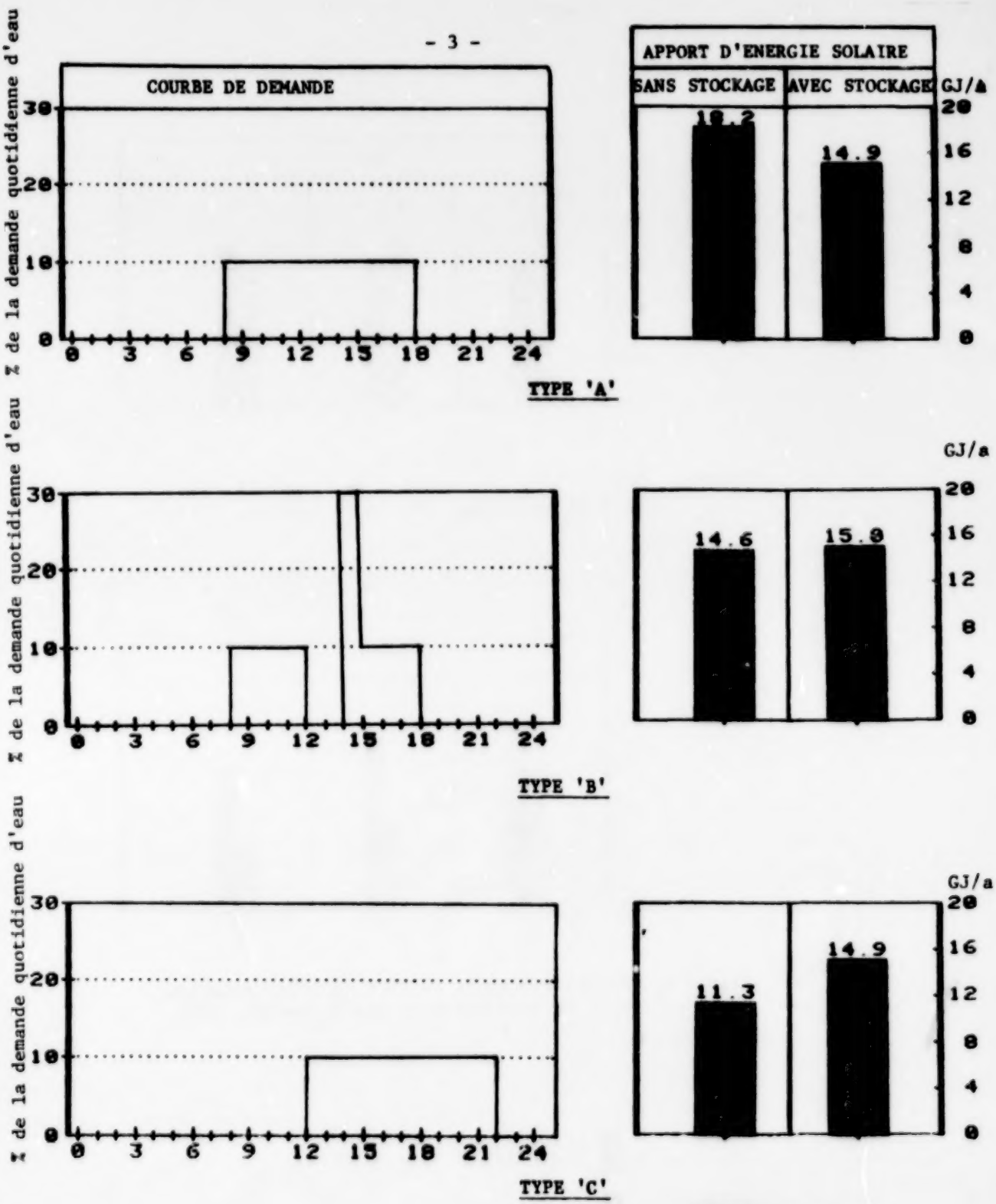


Figure 1. Apport annuel d'énergie solaire pour des installations avec et sans stockage thermique selon diverses courbes de demande.

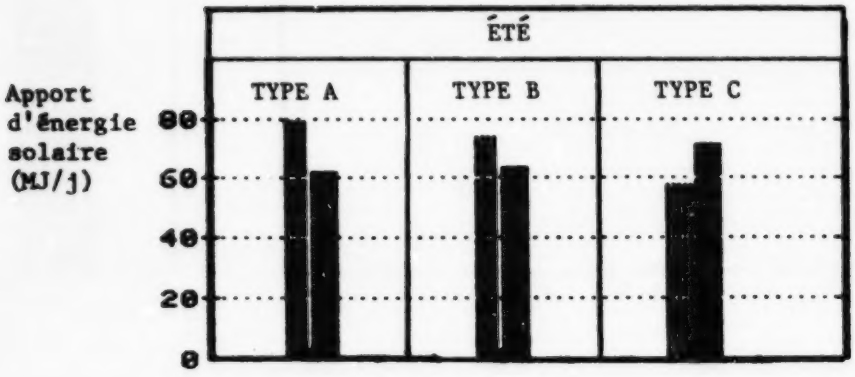


Figure 2. Apport d'énergie solaire de l'installation, avec et sans stockage, le 22 juillet, 1970.

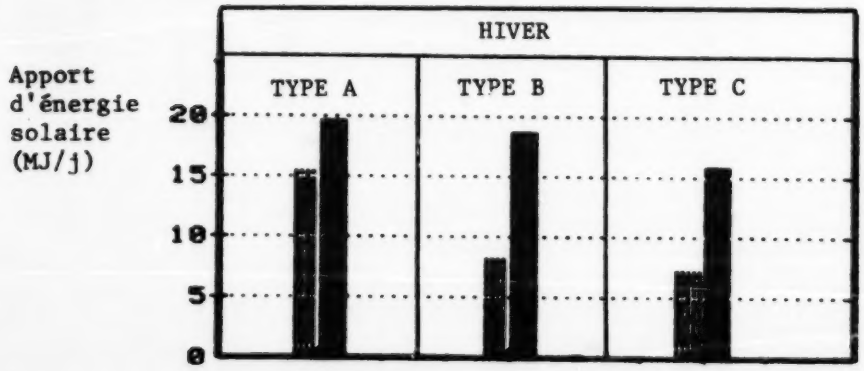


Figure 3. Apport d'énergie solaire de l'installation, avec et sans stockage, le 3 janvier, 1970.

Installation sans stockage

Installation avec stockage de préchauffage

(ii) Type B

La modification de la courbe de demande a des répercussions importantes sur le rendement thermique annuel de l'installation sans stockage. La répartition irrégulière[1] de la courbe type B réduit le rendement thermique d'une installation sans stockage de 20% par rapport à une courbe type A. Comme il y a des heures où de l'énergie est captée mais qu'il n'y a pas de demande, seul le fluide caloporteur du circuit des capteurs est chauffé et l'installation doit nécessairement rejeter toute l'énergie excédentaire faute de stockage. L'installation avec stockage a un rendement légèrement supérieur à l'installation sans stockage avec l'irrégularité de la courbe de demande durant les heures d'ensoleillement. Les applications ou la courbe de demande est très irrégulière (demande nulle ou pointes élevées) au cours des heures d'ensoleillement ont un besoin important pour un stockage thermique.

(iii) Type C

Le rendement thermique annuel d'une installation sans stockage thermique diminue considérablement lorsque la courbe de demande est décalée par rapport aux heures d'ensoleillement comme le type C. L'énergie solaire n'est utilisée que durant les heures d'insolation. Lorsque l'insolation est nulle ou lorsque la demande est supérieure à la quantité d'énergie solaire absorbée, le chauffage d'appoint doit satisfaire la demande. Avec une courbe type C, l'insolation entre 0800 et 1200 n'est pas utilisée et doit être rejetée. Avec un stockage thermique pour tirer avantage de l'insolation avant midi on obtient une augmentation de rendement thermique annuel de 32% cent par rapport à une installation sans stockage. Dans ce cas, la plage de la demande ne convient pas à une installation sans stockage. La forme ou la plage de la courbe a peu d'incidence sur les installations à stockage thermique. Ce dernier sert de tampon et modère les effets des différences entre la courbe de demande et la courbe d'insolation.

---

1 Il est à remarquer qu'une courbe de demande irrégulière peut correspondre à la courbe d'insolation, dans lequel cas le rendement est accru.

3.2 Rendement thermique quotidien

On peut voir aux figures 2 et 3 le rendement thermique au cours de deux journées, l'une caractéristique de l'hiver (3 janvier) et l'autre de l'été (22 juillet), pour les trois types de courbe de demande. En été, le rendement thermique d'une installation sans stockage est plus élevé que celui d'une installation avec stockage, à l'exception du cas C. En hiver, on constate l'inverse pour toutes les courbes. Deux raisons peuvent expliquer cette situation. En premier lieu, l'insolation et, partant, l'énergie captée, est beaucoup plus importante en été qu'en hiver. Par conséquent, la température du stockage sera beaucoup plus élevée, à demande égale, en été qu'en hiver. L'installation avec stockage sera fortement pénalisée puisqu'elle fonctionne avec une alimentation à température élevée alors que l'installation sans stockage fonctionne avec un rendement maximal, son alimentation provenant de la conduite principale. En second lieu, les longues périodes de faible insolation sont moins fréquentes en été lorsque l'installation doit dépendre du stockage. Toutefois, la faible insolation en hiver et les fréquentes journées sans apport énergétique utile rendent les installations sans stockage inefficaces.

4. CONCLUSION

L'élimination du stockage thermique dans une installation solaire ne devrait être considérée que si la charge thermique a les caractéristiques suivantes:

a) la plage de la courbe de demande correspond à la courbe d'insolation;
b) il n'y a aucune période creuse de la demande pendant que l'énergie est absorbée;
c) il y a une demande 7 jours par semaine;
d) les besoins d'énergie de la demande ne dépassent pas l'énergie utile captée par l'installation à aucun moment de la journée (c.-à-d. faible fraction solaire).

Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 10: December, 1982

Zero-Storage Solar Heating Systems

1. SYNOPSIS

The effect of eliminating thermal storage from solar water heating systems is examined. Results show that zero-storage systems have an overall system thermal performance similar to or slightly better than conventional storage-based systems when:

a) the energy required (load profile) matches the insolation profile for each hour of the day;

b) there is a 7-day-per-week energy requirement;

c) the solar contribution is relatively small.

2. INTRODUCTION

WATSUN 4, an interactive hour-by-hour computer program, was used to simulate a system with and without thermal storage. Data for the model solar system were input as follows:

collector area:	8 m^2
hot water load:	500 L/d
hot water set temperature:	50°C
mains temperature:	10°C
collector slope:	45°
azimuth:	0°
location:	Ottawa
storage:	a) 0 L/m^2 of collector
	b) 60 L/m^2 of collector

The model system was simulated to show annual thermal performance using the three types of load profiles (A, B, and C) shown in figure 1.

i) Type A: There is a constant load profile between 08:00 and 18:00. There is a hot water load only during the hours when there is potential incident radiation.

ii) Type B: There is an irregular load profile between 08:00 and 18:00.

iii) Type C: There is a constant load profile between 12:00 and 22:00. There is potential incident radiation for only a portion of the time there is a hot water load.

The system was then simulated to show daily thermal performance for a number of winter days and a number of summer days, from which a typical winter day and a typical summer day were selected, as shown in figures 2 and 3.

3. DISCUSSION

3.1 Annual thermal performance

(i) Type A

The zero-storage system with the Type A load profile shows the best annual thermal performance of all the systems examined. The Type A load profile matches the insolation profile and energy is used as it is collected. When the energy requirement does not exceed the useful energy collected by the solar system, for any hour of the day, thermal storage reduces the level of energy delivered. When thermal storage of 60 L/m^2 of collector area is introduced, there is an 18% decrease in the annual thermal performance of the system. In a system with thermal storage, the inlet temperature to the collectors is usually higher than mains temperature, which causes a reduction in the efficiency of the solar array.

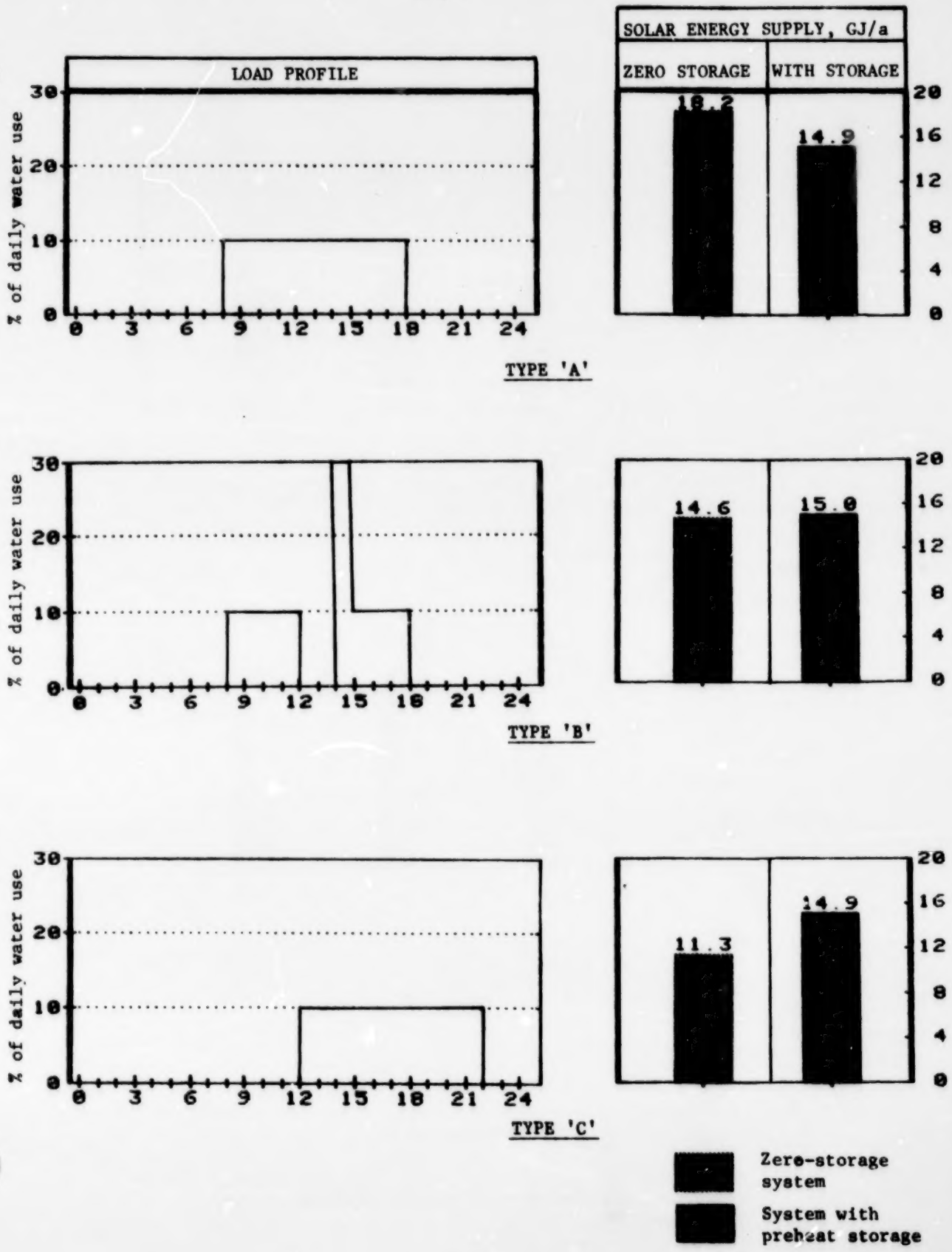


Figure 1. Annual solar energy supplied for systems with and without preheat storage tank using various types of load profiles.

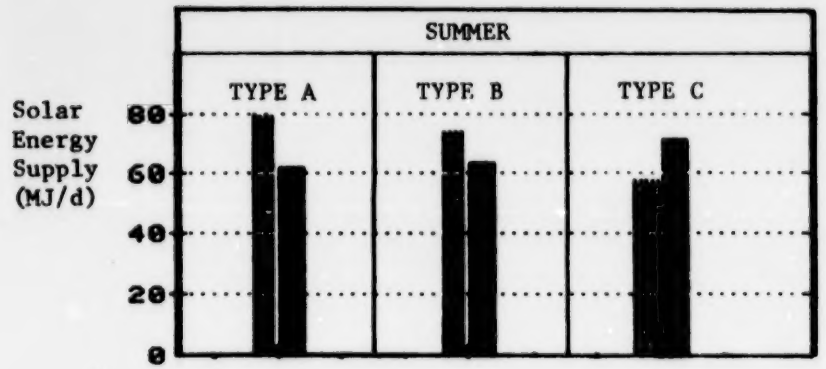


Figure 2. Solar energy supplied by the system with and without storage on July 22, 1970.

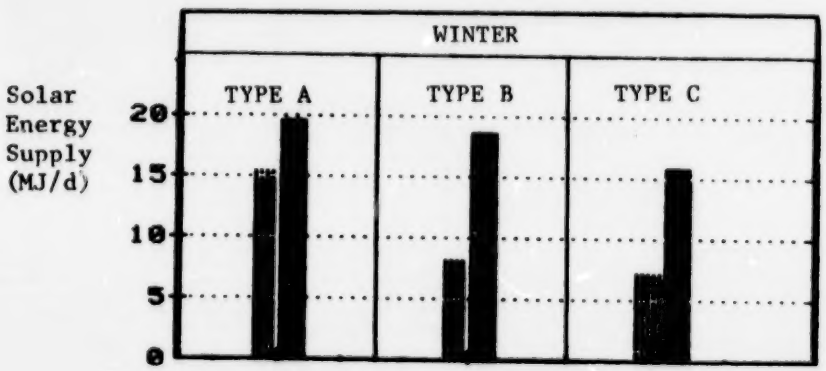
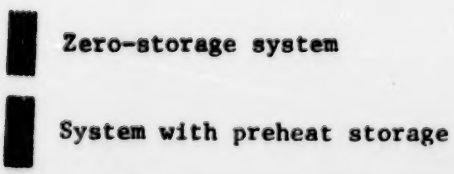


Figure 3. Solar energy supplied by the system with and without storage on January 3, 1970.



(ii) Type B

A change in the shape of the load profile has a strong effect on the annual thermal performance of the zero-storage solar system. The irregular[1] distribution of load profile Type B reduces the thermal performance of a zero storage system by 20% compared to a zero-storage system with the Type A load profile. Since there are hours when energy is collected but there is no load, only the heat transfer fluid in the collector loop is heated and the system is forced to "dump" all remaining collected energy if there is no storage. The system with storage and the Type B load profile performs marginally better than the zero-storage system with the same load profile. The benefits of storage increase with an increase in the irregularity of the load profile during hours of incident radiation. Applications with extremely irregular load profiles (i.e. periods of no draw or large "spikes") during hours of insolation, have a greater need for thermal storage.

(iii) Type C

The annual thermal performance of a zero-storage system decreases substantially when the load profile is shifted outside the hours of incident radiation, as in a Type C load profile. Solar energy is supplied to the load only during the hours of incident radiation. When there is no radiation, or at times when the load exceeds solar energy delivered, the load is met by the auxiliary system as required. In a Type C load profile, incident radiation received before 08:00 is not used and therefore must be "dumped". Using thermal storage to take advantage of the incident radiation between 08:00 and 12:00 results in a 32% increase in annual thermal performance over a zero-storage system. In this instance the scheduling of the load is not suited to a zero-storage system.

---

[1] Note that an "irregular" load profile may match an "irregular" insolation profile, in which case performance is <u>increased.</u>

The shape or the scheduling of the load does not have a strong effect on systems using thermal storage. The thermal storage acts as a buffer thus moderating the effect of inconsistencies between the load profile and the insolation profile.

3.2 Daily thermal performance

The thermal performance of a typical winter day (January 3) and a typical summer day (July 22), for the three types of load profiles are shown in figures 2 and 3. In the summer, the thermal performance of a zero-storage system is higher than that of a system with storage, except for Type C. The reverse is true for all load profiles during the winter. There are two possible reasons for this. First, during the summer the level of insolation and in turn the collected energy is much higher than during the winter. Therefore the temperature of the storage tank will be substantially higher in summer than in winter for a similar load. The system with storage will pay a greater penalty for running at this higher temperature in summer while the system with no storage will operate at maximum efficiency since the inlet to the collectors will be mains water. Second, there are not as many extended periods of low insolation during the summer when the solar system would have to rely on heat from storage. However, during the winter low levels of insolation and the frequency of days with no useful energy collection make zero-storage systems impractical.

4. CONCLUSIONS

The elimination of thermal storage in a solar system should only be considered if the heating load has the following characteristics:

a) The scheduling of the load profile matches the insolation profile;
b) There are no periods of zero load while energy is being collected;
c) There is a 7-day-per-week load requirement;
d) The useful energy collected by the solar system does not exceed the energy requirement of the load during any hour of the day (i.e. low solar fraction).

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9817

N° 10: décembre 1982

Installations de chauffage solaire sans stockage

1. RÉSUMÉ

On examine les effets de l'élimination du stockage thermique dans les systèmes solaires pour le chauffage de l'eau. Les résultats indiquent que le rendement thermique global de l'installation sans stockage est comparable ou légèrement supérieur à celui d'une installation classique à stockage lorsque:

a) l'énergie requise (courbe de demande) correspond à la courbe d'insolation;
b) l'on exige de l'énergie 7 jours par semaine;
c) la fraction solaire est relativement faible.

2. INTRODUCTION

On a simulé une installation avec stockage thermique, puis sans stockage thermique, au moyen du programme d'ordinateur WATSUN 4 interactif, à calcul d'heure en heure. Le modèle d'installation solaire comportait les données suivantes:

superficie des capteurs:	8 m^2
demande d'eau chaude:	500 L/j
réglage du thermostat:	50°C
eau d'alimentation:	10°C
azimuth:	0°
emplacement:	Ottawa
stockage:	a) 0 L/m^2 de capteur
	b) 60 L/m^2 de capteur

Le modèle a simulé le rendement thermique annuel selon trois types de courbe de demande (A, B et C) indiqués à la figure 1.

i) Type A: Il y a une demande constante entre 0800 et 1800. Il y a une une demande d'eau chaude seulement pendant les heures d'insolation potentielle.

ii) Type B: Il y a une demande irrégulière entre 0800 et 1800.

iii) Type C: Il y a une demande constante entre 1200 et 2200. Il y a une insolation potentielle pour seulement la portion du temps que l'eau chaude est requise.

Par la suite, le modèle a simulé le rendement thermique quotidien pour un certain nombre de journées d'hiver et d'été, à partir desquels on a choisi une journée caractéristique de chacune des saisons selon les figures 2 et 3.

3. DISCUSSION

3.1 Rendement thermique annuel

(i) Type A

L'installation sans stockage affiche, avec la courbe de demande type A, le meilleur rendement thermique annuel de toutes les installations étudiées. La courbe de demande type A correspond à la courbe d'insolation et l'énergie est utilisée à mesure qu'elle est captée. Lorsque les besoins d'énergie ne dépassent pas l'énergie utile captée par l'installation à toutes heures de la journée, le stockage thermique réduit la fraction d'énergie solaire absorbée. Lorsqu'on introduit un stockage thermique de 60 L/m^2 de capteur, on constate une réduction de 18% dans le rendement thermique annuel de l'installation. La température de l'eau à l'entrée des capteurs d'une installation avec stockage est normalement plus élevée que celle de l'eau d'alimentation de la conduite principale, ce qui a pour effet de réduire le rendement de l'ensemble des capteurs.

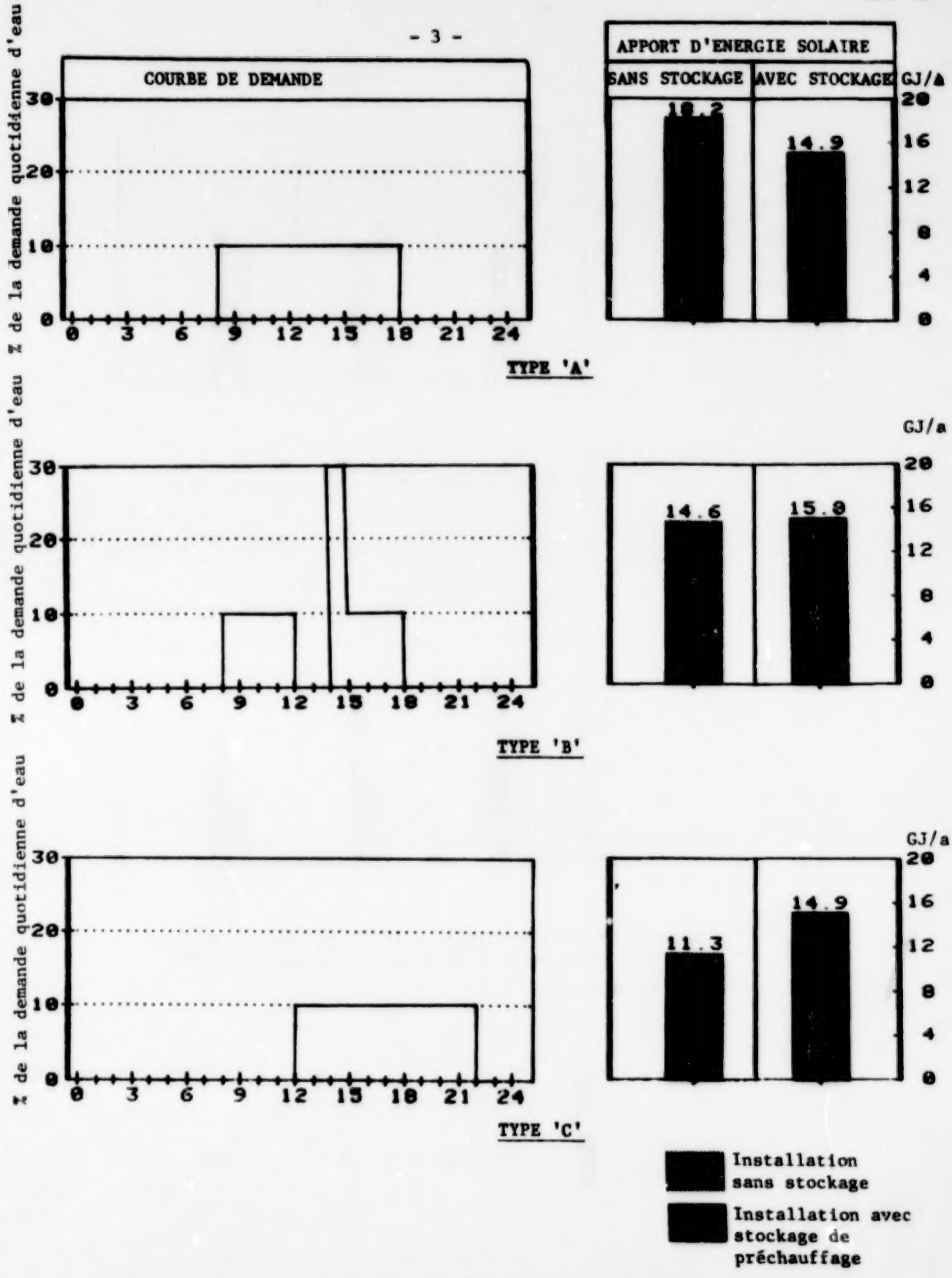


Figure 1. Apport annuel d'énergie solaire pour des installations avec et sans stockage thermique selon diverses courbes de demande.

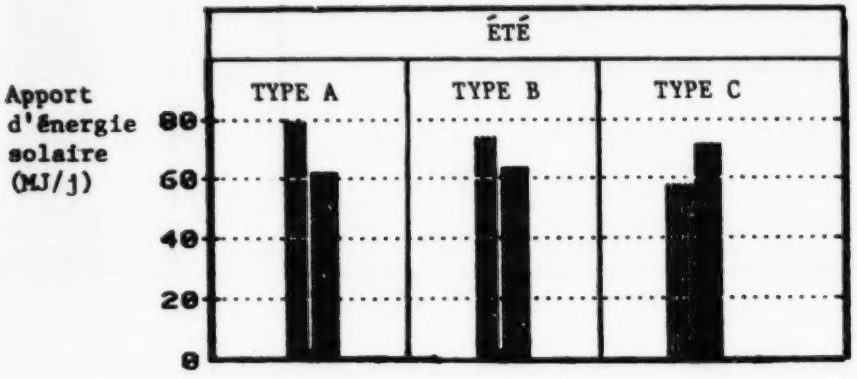


Figure 2. Apport d'énergie solaire de l'installation, avec et sans stockage, le 22 juillet, 1970.

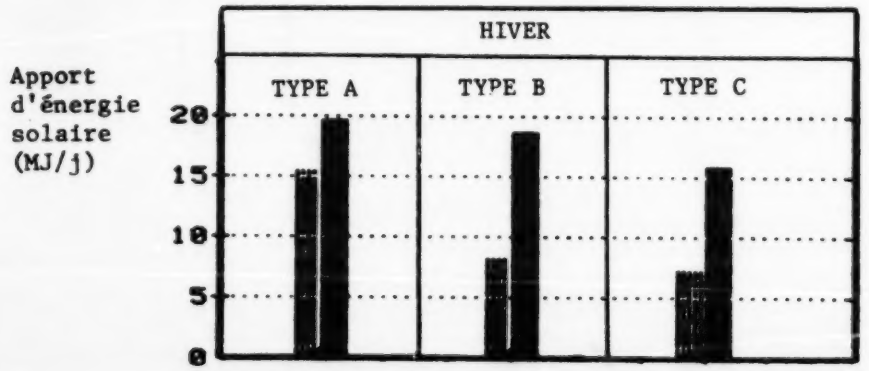


Figure 3. Apport d'énergie solaire de l'installation, avec et sans stockage, le 3 janvier, 1970.

Installation sans stockage

Installation avec stockage de préchauffage

(ii) Type B

La modification de la courbe de demande a des répercussions importantes sur le rendement thermique annuel de l'installation sans stockage. La répartition irrégulière[1] de la courbe type B réduit le rendement thermique d'une installation sans stockage de 20% par rapport à une courbe type A. Comme il y a des heures où de l'énergie est captée mais qu'il n'y a pas de demande, seul le fluide caloporteur du circuit des capteurs est chauffé et l'installation doit nécessairement rejeter toute l'énergie excédentaire faute de stockage. L'installation avec stockage a un rendement légèrement supérieur à l'installation sans stockage avec l'irrégularité de la courbe de demande durant les heures d'ensoleillement. Les applications ou la courbe de demande est très irrégulière (demande nulle ou pointes élevées) au cours des heures d'ensoleillement ont un besoin important pour un stockage thermique.

(iii) Type C

Le rendement thermique annuel d'une installation sans stockage thermique diminue considérablement lorsque la courbe de demande est décalée par rapport aux heures d'ensoleillement comme le type C. L'énergie solaire n'est utilisée que durant les heures d'insolation. Lorsque l'insolation est nulle ou lorsque la demande est supérieure à la quantité d'énergie solaire absorbée, le chauffage d'appoint doit satisfaire la demande. Avec une courbe type C, l'insolation entre 0800 et 1200 n'est pas utilisée et doit être rejetée. Avec un stockage thermique pour tirer avantage de l'insolation avant midi on obtient une augmentation de rendement thermique annuel de 32% cent par rapport à une installation sans stockage. Dans ce cas, la plage de la demande ne convient pas à une installation sans stockage. La forme ou la plage de la courbe a peu d'incidence sur les installations à stockage thermique. Ce dernier sert de tampon et modère les effets des différences entre la courbe de demande et la courbe d'insolation.

---

1 Il est à remarquer qu'une courbe de demande irrégulière peut correspondre à la courbe d'insolation, dans lequel cas le rendement est accru.

3.2 Rendement thermique quotidien

On peut voir aux figures 2 et 3 le rendement thermique au cours de deux journées, l'une caractéristique de l'hiver (3 janvier) et l'autre de l'été (22 juillet), pour les trois types de courbe de demande. En été, le rendement thermique d'une installation sans stockage est plus élevé que celui d'une installation avec stockage, à l'exception du cas C. En hiver, on constate l'inverse pour toutes les courbes. Deux raisons peuvent expliquer cette situation. En premier lieu, l'insolation et, partant, l'énergie captée, est beaucoup plus importante en été qu'en hiver. Par conséquent, la température du stockage sera beaucoup plus élevée, à demande égale, en été qu'en hiver. L'installation avec stockage sera fortement pénalisée puisqu'elle fonctionne avec une alimentation à température élevée alors que l'installation sans stockage fonctionne avec un rendement maximal, son alimentation provenant de la conduite principale. En second lieu, les longues périodes de faible insolation sont moins fréquentes en été lorsque l'installation doit dépendre du stockage. Toutefois, la faible insolation en hiver et les fréquentes journées sans apport énergétique utile rendent les installations sans stockage inefficaces.

4. CONCLUSION

L'élimination du stockage thermique dans une installation solaire ne devrait être considérée que si la charge thermique a les caractéristiques suivantes:

a) la plage de la courbe de demande correspond à la courbe d'insolation;
b) il n'y a aucune période creuse de la demande pendant que l'énergie est absorbée;
c) il y a une demande 7 jours par semaine;
d) les besoins d'énergie de la demande ne dépassent pas l'énergie utile captée par l'installation à aucun moment de la journée (c.-à-d. faible fraction solaire).